第2章

FPC，コネクタ，ハーネスを使う際に知っておきたい鉄則8か条

――一度覚えたら一生使えるコモン・センス

漆谷正義

FPCやコネクタ，ワイヤ・ハーネスは星の数ほどあり，また，使われる条件もさまざまである．しかし，どんなに種類や使用環境が多彩でも，「考慮するべき点」は，さほど変わらない．ここではFPCやコネクタなどの性能を十分に引き出すための普遍的なルール，いわゆる鉄則について説明する．（編集部）

情報の処理速度が上がり，実装密度が高くなるにつれ，データ・バスやアドレス・バスで引き回される信号の周波数が高くなっています．そして同時に，フレキシブル・プリント基板（FPC：flexible printed circuit）やコネクタ，ワイヤ・ハーネス（以降，ハーネス），ケーブル（同軸ケーブルなど）に対する性能要求が厳しくなっています．反面，時間的な制約から，機器の配線については十分に検討できない場合があり，トラブルを招くケースが増えています．

機器開発の流れは，

1) 企画・仕様決定
2) 外観などのデザインの検討
3) 外装・構造設計
4) 電気設計

の順序が普通であり，機器内部の配線構造に対する制約は，2)と3)で大半が決まってしまいます．外装や筐体（ケース）の金型の製作期間は長いため，通常，4)から2)に戻ることは許されません．したがって，4)に携わる電気回路設計者が，2)の時点で問題点を見抜く力が求められます．

FPCやコネクタ，ハーネス，ケーブルが関係するトラブルとしては，

- 信号の干渉や放射，流入などのノイズがらみのトラブル
- 信号の減衰やひずみ，電源電圧の低下などの伝送特性に起因するトラブル
- 接触不良や断線，短絡，発熱などの信頼性に関するトラブル

に大別されます．また，最近では使用する材料について，環境問題への配慮も必要になっています．

配線部品やその材料の種類は多彩で，ここでそのすべてに触れることは不可能です．しかし，考慮すべき注意点には共通している部分が多くあります．ここではその鉄則を，各項目ごとに説明します．

表1　FPC用およびFFC用コネクタの電気的仕様の例

項　目	仕　様
定格電流	AC/DC 0.5A
定格電圧	AC/DC 50V
接触抵抗	40mΩ以下（DC20mV以下，100mA以下の場合）
絶縁抵抗	100MΩ以上（DC250Vの場合）
耐電圧	AC250V，1分間（リーク電流は1mA以下）
挿抜耐久	20回
使用周囲温度	－30℃～＋85℃（結露や氷結のないこと）

鉄則1　接触抵抗が影響を及ぼす使いかたをしない

コネクタの電気的特性でまず注目しなければならないのが接触抵抗です．

● 接触抵抗の測定条件を確かめておく

表1は，FPC用およびFFC（flexible flat cable）用コネクタの定格と性能の例です．接触抵抗は40mΩ以下となっ

KeyWord
FPC，コネクタ，ワイヤ・ハーネス，FFC，接触抵抗，ウィスカ，マイグレーション，特性インピーダンス，フェライト・コア，シールド，クロストーク・ノイズ

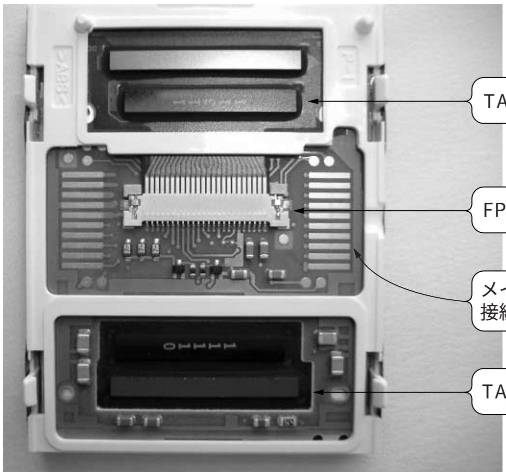


写真1　接触部が複数あるLCD接続部の例

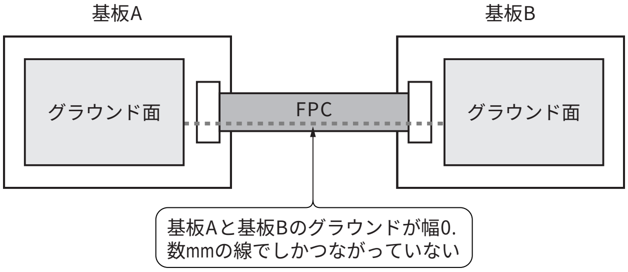


図1　コネクタによってグラウンドを分離してしまった例
基板間における信号の導通が不十分であれば，全体としてのグラウンドはインピーダンスの高い不安定なものになる

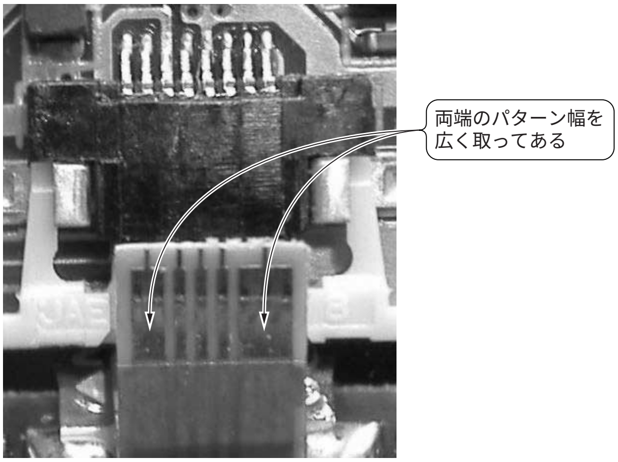


写真2　V_{CC}やグラウンドに複数のピンを割り当て，パターン幅を広く取った例

ています．接触抵抗とは，コネクタのコンタクト部分の抵抗値のことです．測定方法はJIS C5402などで規定されており，通常は定格電流を流したときの値で表します．しかし，**表1**では実際の使用条件に近い，より低い電圧・電流で測定しています．この条件も，「低電圧，低電流における接触抵抗」として，JISで規定されています．

「低レベル接触抵抗」とは，電源電圧が20mV，電流が100mA以下で測定するもので，例えば20mVで20mA流したときの抵抗値は，「20mΩ以下 at 20mA」などと表します．FPC用コネクタの接触抵抗は20mΩ～100mΩ程度です．よりサイズの大きい基板対基板接続用コネクタの接触抵抗は数mΩ～数十mΩなので，FPC用コネクタの場合は若干大きめです．

● 接触抵抗を無視できないときは，複数ピンを並列に

コネクタについては，スイッチやリレーと同様に，接触抵抗が問題となるような使いかたは避けなければなりません．接触抵抗が無視できないのは，一つは電源ラインや大電流制御ライン，もう一つは電源や信号のグラウンド線です．また，微小信号ラインではノイズの原因になることもあります．

接触箇所が多数ある基板の場合は，トータルの接触抵抗が無視できなくなることもあります．**写真1**はLCD（液晶ディスプレイ）のTAB（反対面）→ FPC用コネクタ → メイン基板との接続部といった三つの接触点を通る例です．金めっき部分がメイン基板との接続点です．基板上にどんなに強固なグラウンド・パターンを形成しても，基板間における信号の導通が不十分であれば，全体としてのグラウンドはインピーダンスの高い，不安定なものになります（**図1**）．

電源ラインの場合も，FPCを使用している部分が電圧降下の要因となります．したがって，接続部は定格いっぱいのDC電流を流すのではなく，複数のピンを使って，1ピン当たりの電流値の低減を図るべきです．**写真2**は，複数のピンを並列に使う場合のFPCのパターン例です．両端（V_{CC}とグラウンド）のパターンの幅を広く取っています．

接触抵抗は，機器の振動によって変化する可能性があります．これはJISで測定方法が定められているので，必要に応じて仕様書に追記してもらうとよいでしょう．

● FPC用コネクタは20回程度の抜き差しで寿命となる

コネクタには，挿抜回数の制限（寿命）があります．一般にコネクタは，抜き差しするたびにほこりがコンタクト部に付着し，徐々に接触抵抗が大きくなります．とくにFPC用コネクタは，挿抜回数の制限が10～40回と少なく，事

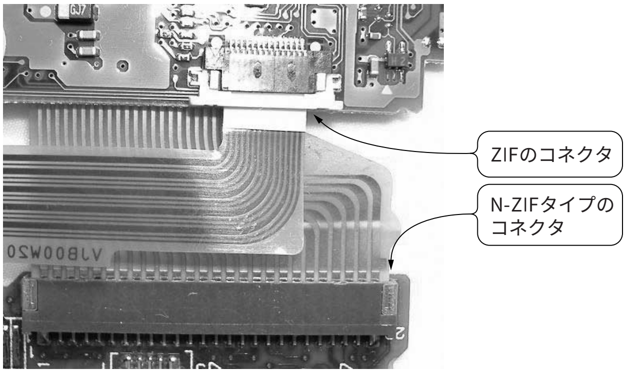


写真3　ZIFタイプとN-ZIFタイプのコネクタ

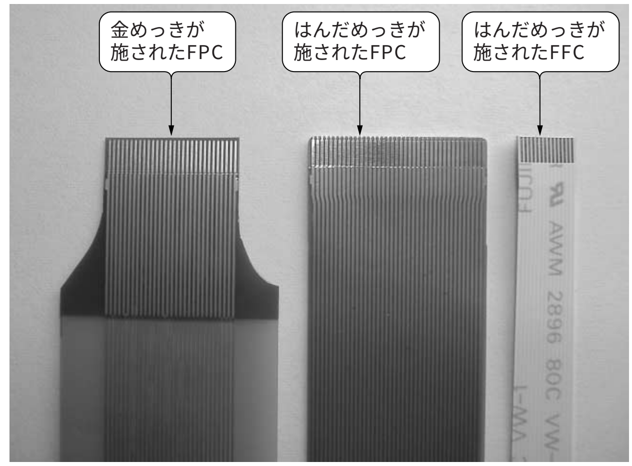


写真4　フレキ接点のめっき処理

実上，取り外しできないと考えるべきです．N-ZIF（non zero insertion force socket；挿入時に圧力ゼロでないタイプ）は，耐久回数が少ない傾向にあります（**写真3**）．抜き差しする可能性がある場合は，**写真1**のように別にコンタクト部分を設けるなどします．

コネクタにもスイッチのようなチャタリングが発生する可能性があります．モータなどの振動が加わる場合，端子構造によっては，瞬間的な信号切断が生じる恐れもあります．これもJISで規定していますが，カタログには記載されていないので，必要に応じて仕様書を取り交わす時点で項目に入れておきます．

● 接触部分には同種の金属を使う

コンタクトの導体材料は，導電性の良い銅合金がほとんどです．ベリリウム銅（Cu-Be）は導電率が高く，引っ張り強度も高いのでお勧めです．これは，産業機器向けのコネクタに使われています．

民生機器ではコスト面から，りん青銅（Cu-Sn-P）が使われることが多いようです．接点どうしは同種金属が原則です．**写真4**は左から，端子に金めっきが施されたFPC，はんだめっきが施されたFPC，はんだめっきが施されたFFCです．金めっきとはんだめっきの組み合わせは，接点が腐食し，接触不良を引き起こします．

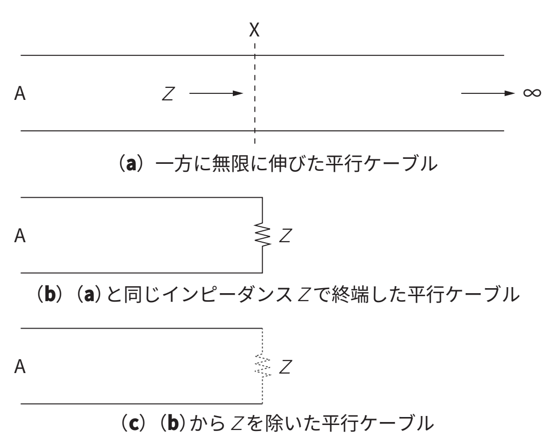


図2　一方に無限に伸びた平行ケーブルと等価抵抗Zを挿入した有限の平行ケーブル

（a）と（b）においては，Aから送られた電力はすべてZで消費され，信号の反射はない

鉄則2　配線インピーダンスの影響を予測する

1本の導線の電気的な特性について，直流では抵抗Rだけを考えればよいのですが，交流（あるいはパルス）では周波数が高くなると，インダクタンスLも考える必要があります．インダクタンスLのリアクタンス（交流に対する抵抗）は，周波数に比例して増大するので，高周波では抵抗RよりもはるかにインダクタンスLの影響が大きくなります．FPCやフラット・ケーブル（ここではパソコン内部で使われているようなケーブルを想定している）のような平行導線の場合は，さらに線間容量Cも無視できません．

● 損失の少ない伝送には特性インピーダンスの理解が必須

図2（a）のように，一方に無限に伸びた平行ケーブルの一端Aにおいてインピーダンスを測ると，導線の直径と線の間隔で決まる一定の値Z［Ω］となります．これをこのケーブルの特性インピーダンスと言います．このように，平行に配置された電線がインピーダンスを持つのは，線間の浮遊容量と導線のインダクタンスが存在するからです．

今，X点でケーブルを切って，右方のインピーダンスを

コンタクト部に金めっきを使う理由

表Aのように，金は決して電気抵抗が小さいとは言えません．では，接触部分にコストの高い金めっきをあえて使う理由は何でしょうか？

すずめっきは安価なので，極数の少ない民生用コネクタに使われていますが，硫化（SO_2，H_2Sなどの硫黄と反応）しやすいのが難点です．安定した接触を保つためには，数百g以上の接触圧が必要となり，極数が多いと挿抜力が大きくなって使えません．ウィスカ（ホイスカ）という，すずが1 μm～2 μmの太さの針状に成長する問題もあります．

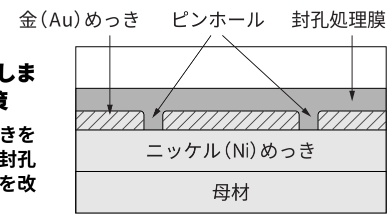
表Aのように銀は電気抵抗が小さいのですが，銀めっきを行うと，マイグレーション（電位差により金属が移行・析出し，樹状などに成長する現象）が発生するため，コネクタにはほとんど使われません．

これに対して金めっきは腐食に強く，ウィスカやマイグレーションの心配がありません．また，100g以下の低接触圧でも接触性が良く，多極の産業機器向けコネクタや民生機器向けのFPC用コネクタに使われます．薄い金めっきの場合はピンホールができることがありますが，下地にニッケル（Ni）めっきを施したり，導電性材料で封孔処理を施すことで，接触性を改善できます（**図A**）．

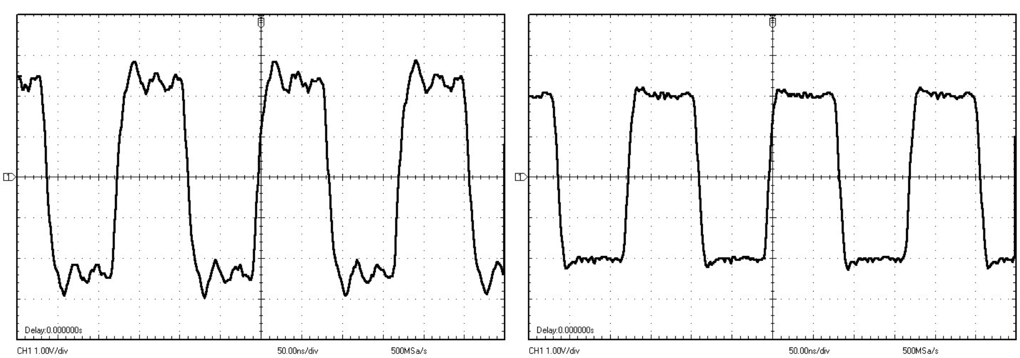
金の使用量を減らしたい場合，FPCとコンタクトする部分だけに金めっきを施し，基板にはんだ付けする部分はすずめっきとする「部分めっき」が有効です．めっきの厚さは0.5 μm程度で，あまり薄いと耐環境性の劣化や挿抜回数の減少につながります．

表A
各種金属の電気抵抗（0℃のとき）

材　料	体積抵抗率【Ω・m】
銀	1.47
銅	1.55
リン青銅	2.00
金	2.05
アルミニウム	2.50
ニッケル	6.20
真ちゅう	6.30
すず	11.5



図A
金めっき表面にできてしまうピンホールとその対策
下地にニッケル（Ni）めっきを施したり，導電性材料で封孔処理を施すことで接触性を改善できる



（**a**）図2（**c**）のA点の波形（1V/div.，50ns/div）
（**b**）図2（**b**）のA点の波形（1V/div.，50ns/div）

図3
反射の影響を受けた信号源側の波形
インピーダンスを整合させないと，余分なエネルギーが外部に放射される

測っても，やはりZ［Ω］となります．そこで，X点から右方のケーブルの代わりに，**(b)**のようにZ［Ω］という値の抵抗を挿入すれば，A点で測ったインピーダンスは，**(a)**と同じくZ［Ω］となります．したがって，**(b)**は，**(a)**と同じように線路が無限と考えてよく，Aから送られた電力はすべてZで消費され，信号の反射はありません．

ケーブルをZ［Ω］以外の値の抵抗で終端すると，この抵抗で消費されないエネルギーが反射して，信号源へ戻ってきます．そして，入射波と反射波が合成されて，ケーブル上に定在波が発生します．例えば**(c)**のようにZがない（$Z=\infty$）場合は，開放端で完全反射し，長さ方向で異なる大きさで電流が分布します（定在波）．Zが有限の場合は，信号の一部が反射します．

図3(a)は，**図2(c)**のA点で見た波形です．反射により，波形が波打っています．**図3(b)**は，**図2(b)**のA点の波形で，反射の影響がほぼなくなっています．インピーダンスを整合させないと，余分なエネルギーが外部に放射され，不要放射となります．

● フラット・ケーブルの特性インピーダンスは数百Ω

上述のように特性インピーダンスは，周波数やケーブルの長さには関係しません．したがって，反射を防ぐには，特性インピーダンスに等しいインピーダンスで終端すればよいということになります．**表2**にフラット・ケーブルの電

気的特性の例を示します．まるで高周波部品のようなデータです．100MHzオーダのパルス信号を扱う現在のディジタル回路は，高周波回路そのものであることがわかります．

ケーブルの容量とインダクタンスが，特性インピーダンスを発生する原因であることは前に述べました．式で表すと，

$$Z=\sqrt{\frac{L}{C}}$$

となります．試しに不平衡の場合のデータを入れてみると，

$$Z=\sqrt{\left(\frac{0.53\times10^{-6}}{45.93\times10^{-12}}\right)}=107\,\Omega$$

表2　フラット・ケーブルの特性インピーダンスの例

項　目	不平衡	平　衡
特性インピーダンス	107 Ω	176 Ω
容量C	45.93pF/m	26.95pF/m
インダクタンスL	0.53 μH/m	0.83 μH/m
伝播遅延時間	4.92ns/m	4.76ns/m
伝播速度比（真空中を100％とする）	68％	70％

となり，特性インピーダンスを計算できます．**表2**を作成したときの不平衡接続と平衡接続は**図4**のように実現しているので，実際の結線に合わせてマッチング・インピーダンス（信号源インピーダンスと終端抵抗値）を選びます．このとき不平衡の場合の値（107 Ω）か，平衡の場合の値（176 Ω）かを，信号入出力形式（不平衡か平衡か）に合わせて選びます．パラレル・バスなどのように信号線が多いときは，たいてい不平衡結線です．

ディジタルICの入力インピーダンスは数百Ωなので，通常は終端抵抗を入れません．また，信号源側に30 Ω～100 Ωの抵抗を直列に入れても整合がとれます．

● 配線の抵抗成分が問題になることもある

図5（a）において，基板のIN端子にV_{in}の信号が接続されており，OUT端子に負荷R_Lが接続されているとします．基板のグラウンド端子からV_{in}とR_Lのグラウンド側接続点Aの間に共通ラインがあるので，この部分の抵抗をrとすると，ここに$r\times(i_{in}-i_{out})$の電圧が発生します．一般に，$i_{in}<<i_{out}$ですから，この電圧は$r\times i_{out}$と考えて差し支えありません．かりに電流ゲインを100倍（40dB）とした場

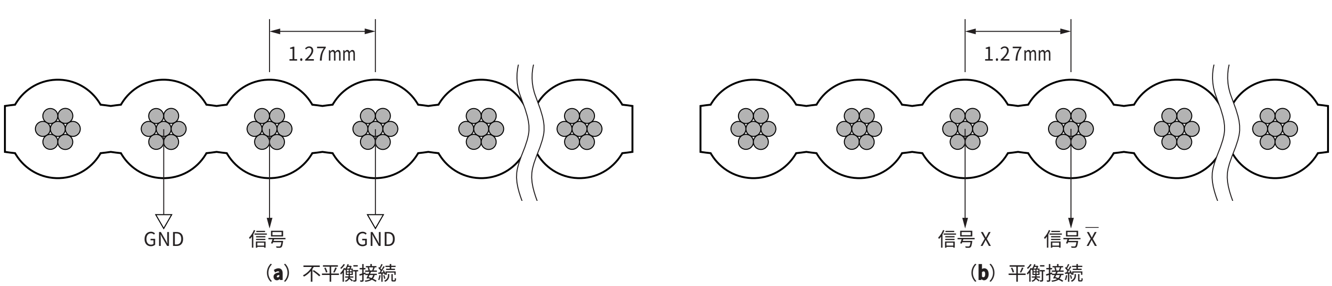


図4　表2を作成した際の特性インピーダンスの測定方法
実際の結線に合わせて表2の特性インピーダンスの値を選ぶこと

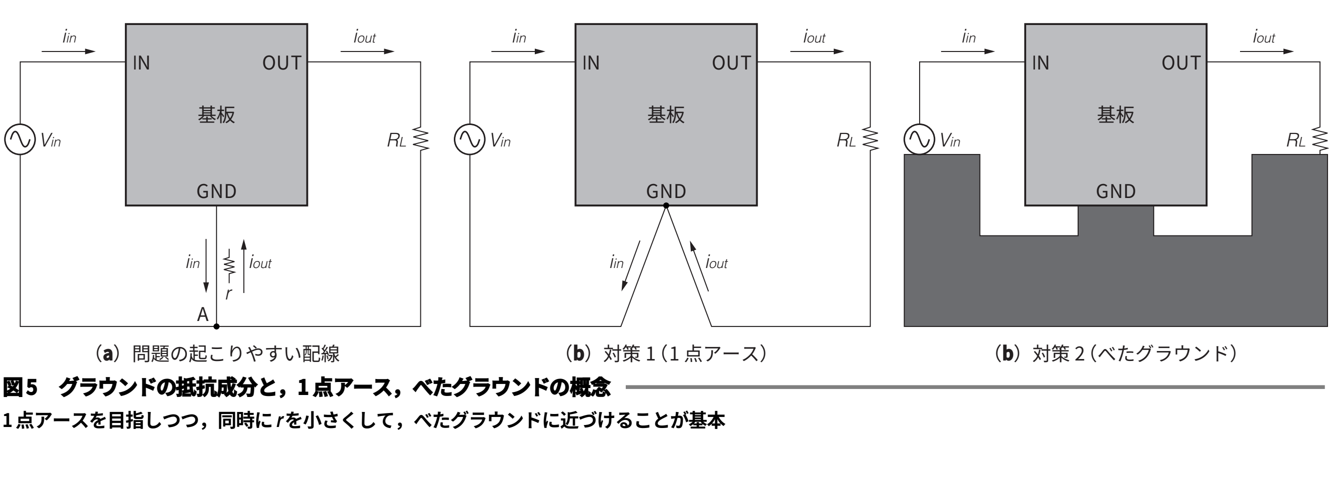


図5　グラウンドの抵抗成分と，1点アース，べたグラウンドの概念
1点アースを目指しつつ，同時にrを小さくして，べたグラウンドに近づけることが基本

合，r = 100mΩを入力回路から見ると，10Ωに相当します．そして，この部分に発生する電圧は，V_{in}に重畳されてIN端子に入ることになり，SN比の劣化，あるいは発振などのトラブルの元となります．このグラウンドからの流出電流を帰路電流と言います．

この場合の対策として，二つの方法が考えられます．一つは，**図5(b)**のように基板のグラウンド端子に1点で接続すること(1点アース)，もう一つは，**(c)**のようにrを無視できるほど小さくすること(べたグラウンド)です．基板間の配線をべたグラウンドとすることは難しいので，1点アースを目ざしつつ，同時にrを小さくしてべたグラウンドに近づけることが基本です．rを小さくする方法には，「コネクタの接触抵抗が小さいものを選ぶ」，「コネクタの端子を複数本並列にする」，「FPCのパターン幅を広げる」，「ハーネスのワイヤ径を太くする」などがあります．グラウンドを等電位にすることは，コモン(共通)モード・ノイズを減少させることにもなり，ノイズ対策の点からも大事なことです．参考までに，導体厚35 μmでパターン幅0.8mmの場合，FPCやFFCの導体抵抗は750Ω/km程度です．10 cmで，75mΩとなります．

鉄則3 信号線の配置やシールドでクロストーク・ノイズを防ぐ

ディジタル機器では，静電気や雷，あるいは機器内外の偶発的なパルスの影響によって，ビット誤りや誤動作が発生します．これは，従来のアナログ機器ではほとんど問題にされなかったことです．ディジタル信号のクロストーク・ノイズは，アナログ信号と比べるとトラブルになりにくいのですが，それでも信号波形にノイズが重畳することには変わりありません．しかも，SN比劣化による症状が偶発的になる(確率的現象になる)ため，アナログ回路のように直感的に原因を推定することは困難です．

フラット・ケーブルやFPCのクロストーク・ノイズには，信号線どうしの干渉と，別の信号線からのクロストーク・ノイズがあります．クロストーク・ノイズの経路には遠端漏話と近端漏話があり，波形も異なります．大ざっぱに言えば近端漏話では原波形が，遠端漏話では原波形のエッジ部分が，伝播遅延を伴って現れます．

● ピン間のクロストーク・ノイズの原因は浮遊容量

コネクタにおけるクロストーク・ノイズの原因は，ピン間の浮遊容量です．信号割り当てをピン間1本分空けると容量は半分ほどに減りますが，クロストーク・ノイズはゼロにはなりません．ピンどうしが離れるに従って，**図6**のようなカーブで減少します．

容量が数pFでも，高周波においてはクロストーク・ノイズを無視できなくなります．**図7**はコネクタの隣接ピン間のクロストーク・ノイズの例です．100kHzで80dBの減衰があっても，100MHzでは30dBを下回ってしまいます．でもまだ30dBあるからだいじょうぶかというと，そうでもありません．100MHzのパルスはエッジ部分で数百MHzの成分を含みます．クロストーク・ノイズは信号レベルの数分の1となり，トラブルの原因になりえます．

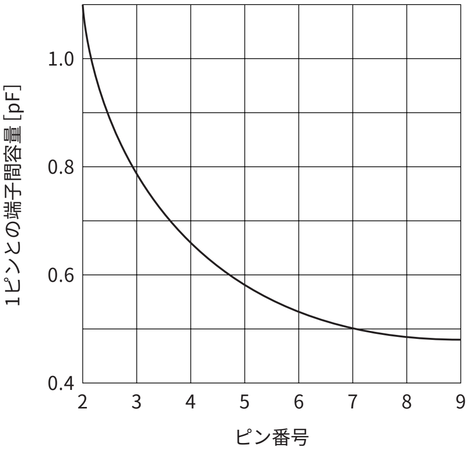


図6 コネクタのピン間容量
信号割り当てをピン間1本分空けると，容量は半分ほどに減る

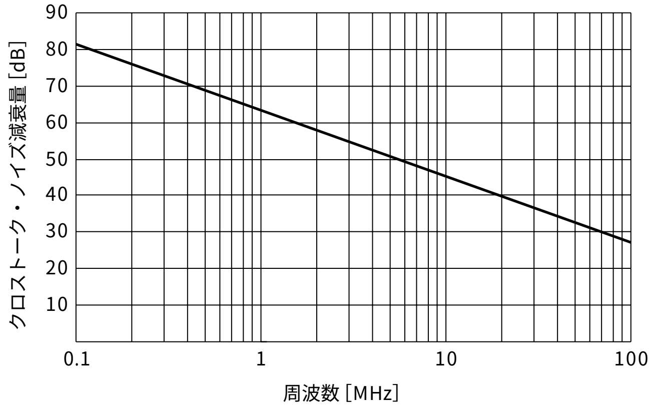


図7 コネクタの隣接ピン間のクロストーク減衰量
100MHzにおいてまだ30dB近くあるからと安心できない．100MHzのパルスはエッジ部分で数百MHzの成分を含む．これがトラブルの原因となる

● クロストーク・ノイズはグラウンド・パターンで防止

写真5は，グラウンド・パターンを信号間に配置・挿入することで，クロストーク・ノイズの低減を図った例です．信号がグラウンド端子で挟まれていなくても，もう一方にグラウンドがあれば，**写真5**のようにグラウンド・パターンを入れることができます．

鉄則4 FPCやFFC，ケーブルをシールドする

ケーブルにシールド・タイプがあるように，FPCもシールドできます．

● コモン電流戻り経路付きのシールドFPCを使う

写真6は片面シールドの例で，表面のグラウンド・パターンにスルー・ホールを設けて，裏面のグラウンド面との接触をとっています．スルー・ホールには100mΩくらいの抵抗があるので，ある程度の数のスルー・ホールを設けないと，効果が低減します．

● 静電・磁気シールドには金属はくや磁性テープが有効

フラット・ケーブルの場合，信号用導体が外部の電磁場に対して無防備なので，外部の電磁界の影響をもろに受けます．また，外部に電磁波を放射します．

導体をその直径の40倍以上離すと，容量性結合の影響はほぼなくなります．シールドは，編み組みの密度が高いほど効果があり，金属はくが最良です．

磁気誘導を小さくしたい場合は，磁気シールドを施します．磁気シールドには磁性体を使います．磁性体ではない，例えば真ちゅうやアルミ，銅には磁気シールド効果がありません．シールドには鉄や磁性テープを使います．磁性テープは，多層巻きすると効果があります．

● ケーブルのシールドは筐体に接触させる

シールド付きケーブルのコモン・モード・ノイズの除去には，フェライト・コアが有効です（**写真7**）．

ケーブルとコネクタ，およびケーブルと筐体の接続点からの電磁放射を無視できないことがあります．インターフェース・ケーブルを直接，装置の筐体に引き込む場合は，ケーブルのシールド導体の全体を覆う形で筐体（金属ケース）に接触させます（**写真8**）．ケーブルのシールドの一部や，シールドと接続されたドレイン線で接続するだけでは不十分です．

コネクタの場合は，全面シールドされたケーブルを，そのままコネクタの全面シールドに接触させます．

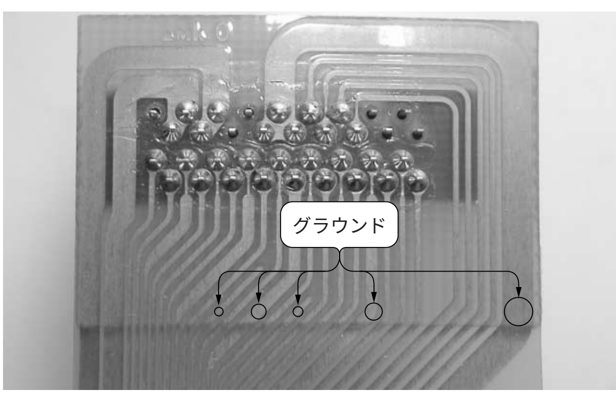


写真5　グラウンド・パターンを信号間に配置・挿入した例

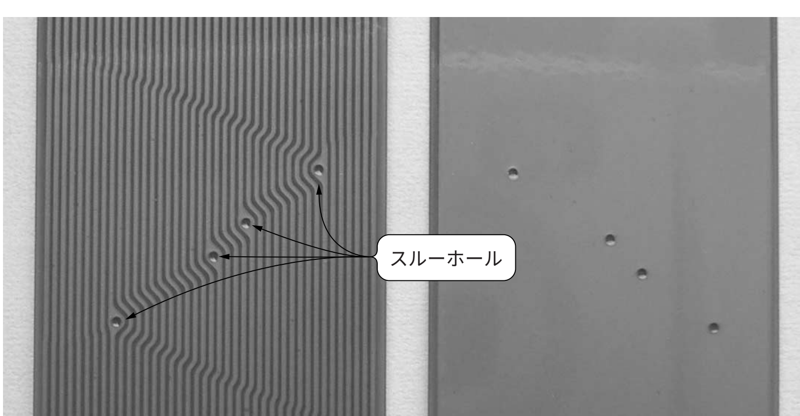


写真6　片面シールド・フレキの例



写真7　シールド付きフラット・ケーブルとフェライト・コア

1	GND
2	CLOCK
3	GND

クロック信号をグラウンドで挟む

（a）ほかのピンへの妨害対策

1	GND
2	GND
3	GND
4	D7
5	D6

複数ピンをグラウンドに当てる

（b）グラウンド強化

1	V_{CC1}
2	SIGIN
3	V_{CC2}
4	SIGOUT
5	GND

信号線をグラウンドか電源ラインで挟む

（c）クロストーク・ノイズ対策その1

1	TCK
2	TDI
3	TMS
4	TDO
5	GND

関連する信号は1ヵ所にまとめる

（d）クロストーク・ノイズ対策その2

1	SIG_1
2	NC
3	SIG_2

空きピンで分離する

（e）端子間容量を小さくする

1	U
2	U
3	V
4	V
5	W
6	W

3相モータの駆動信号など，大電流で駆動する信号は複数ピンにする

（f）電流容量の確保

図8　コネクタの端子割り当ての留意点
端子割り当ては信号の種類や特徴を考慮して決めること

鉄則5　端子の割り当ては信号の種類や特徴を考慮して決める

割り込み信号やリセット信号など，変化の少ない信号は，ノイズの流入や放射の測定を行っても引っかからないので，あまり注目されません．しかし，この種の制御信号の帰路や遮へいを軽視すると，ノイズが誘導され，原因の見つけにくい誤動作や暴走の原因となります．バス・ラインと区別して，制御信号として一括して扱い，ほかの信号とグラウンド線で区分すると安全です．**図8**に端子割り当ての留意点の一例を示します．

鉄則6　電流・電圧などの定格を確認しておく

定格電圧は，コンタクト・ピンと絶縁体との物理的寸法および材質により決まります．また，定格電流は，コンタクト・ピンの大きさで決まります．可能であれば信号用と電源用は，おのおの専用のコネクタを使います．

● 全端子に定格電流を流せるとは限らない

コネクタのカタログに記載されている定格電流は端子1本当たりの許容電流ですが，全端子に定格電流を流すことはできません．これは電流低減率と呼ばれ，規格にもよりますが，70％程度の定格電流を流すことができます．例えば，定格0.5Aの10ピン・コネクタであれば，全電流は0.5×10×0.7＝3.5A以下となります．10ピンのうち7ピンだけを使うなら，定格電流いっぱいの0.5Aで使えるとも言えます．また，上限の定格電流をすべてのピンに流した場合，使用温度範囲の上限が下がることもあります．

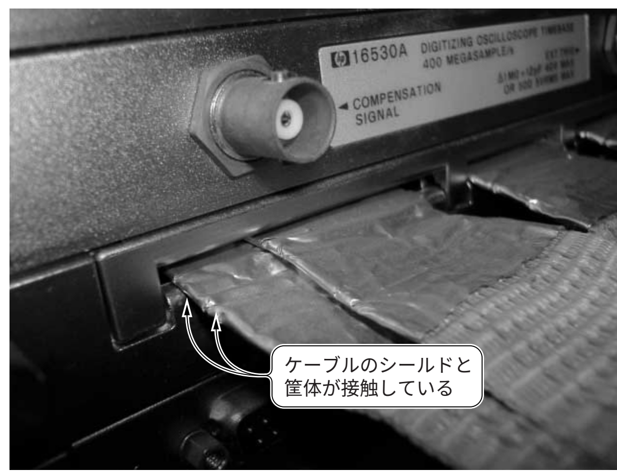


写真8　フラット・ケーブルの機器への引き込み例

表3　FFCの許容電流の例

厚さ＼パターン幅	0.8mm	0.7mm	0.6mm	0.3mm
35 μm	0.4A	0.3A	−	−
50 μm	0.5A	0.5A	0.4A	0.2A
100 μm	1.0A	0.9A	0.8A	−

● FPCやFFCの熱容量・電流容量を予測して設計

FPCやFFCは導体の断面が矩形なので，電線のように断面が円の場合と比べて放熱性が良く，単位断面積当たりの電流容量を大きくとれます．**表3**にFFCの許容電流の例（カタログ値）を示します．

FPCのパターンは，プリント基板と同じように設計者が決めますが，電流容量を予測してパターンを設計する必要

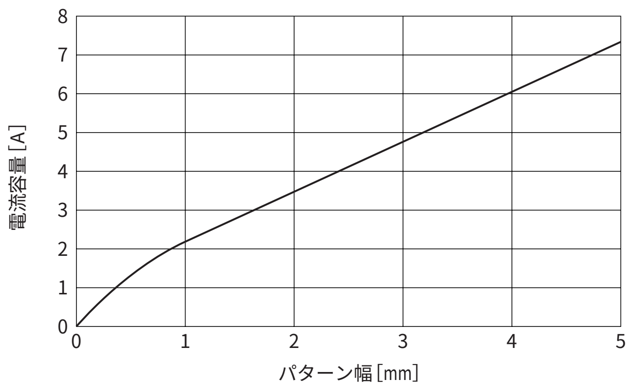


図9　プリント基板における導体のパターン幅と電流容量（厚さ35 μmの場合）
FPCの場合はプリント基板に比べて耐熱性が低いので，この値の1/5くらいを目安としたい

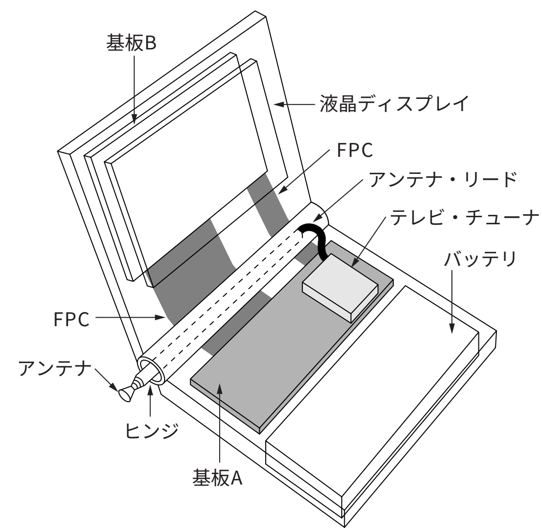


図10　携帯型液晶テレビの内部配線の例
電気設計としては心配になるレイアウトだが…

があります．その指針の一つは，プリント基板の導体の温度上昇の設計ガイド（IPC2221A）です．例えば導体厚が35 μmで温度上昇が10 ℃の場合は，**図9**のようになります．FPCの場合はプリント基板に比べて耐熱性が低いので，この値の1/5くらいを目安とします．

FPCやFFCの絶縁抵抗は，パターン間隔が0.2mmのときに100MΩ以上，耐電圧は500V（DC）以上です．層間耐圧は1kV（DC）以上あります．

鉄則7　設計段階で実装上の問題を把握しておく

実装上の問題で予測しづらいのが，配線に起因する性能劣化です．とくに高密度実装を要求される電子機器では，ハーネスがほかのハーネスや基板上の部品，基板のパターンなどと近接し，作ってみなければ最終的な性能がわからないとも言えます．

● 配線による性能劣化を予測する

図10は，携帯型の液晶テレビの基板構造です．ノート・パソコンと同じく，ふたの部分がLCD画面になっています．ヒンジ部にアンテナを収納しています．これを巻くように，基板Aと基板BがFPCで接続されています．この構造は，意匠設計や外装・構造設計の観点からは優れているのですが，一見すると電気設計（回路）的に心配な点もあります．

それは，LCDがディジタル回路だからです．LCDドライバ回路が出す放射ノイズが，基板A，とくに微弱信号を扱うテレビ・チューナに影響を及ぼす可能性があります．また，FPCがアンテナを巻く構造は気がかりです．それは，パソコンをテレビ（アナログ回路）に近づけたときのビート妨害から容易に推測できます．しかし，現実には，パソコンの中にテレビ・チューナを入れることは可能で，このような液晶テレビも実現されています．

ポイントは，

1) FPCにテレビ帯域と重複する信号を通さないように回路構成（基板構成）を決めること

2) シールドやフィルタを考えうる限り実装できるようにしておくこと

です．最初はできるだけ，これらの部品を外して検討します．基本設計とノイズ対策を区別し，対策なしの性能保証を目標とします．回路の分割方法については，回路全体の動作を理解しなければ良い構成とはなりません．

● FPCは20回～30回の折り曲げで断線

FPCやFFCを**写真9**の左のようにぴったりと折り畳んで使っても通常，問題ありません．しかし，折り曲げを何度も繰り返すと，20回～30回で断線してしまいます．理由は，金属疲労により銅はくが切れてしまうためです．薄型の携帯機器などで，一度折り曲げた部分が外力でたわむ場合もあります．折り畳まずに，**写真9**の右のように加工すれば，たわみには強くなります．

FPCを180 °折り曲げたときの寿命は，通常20回～100

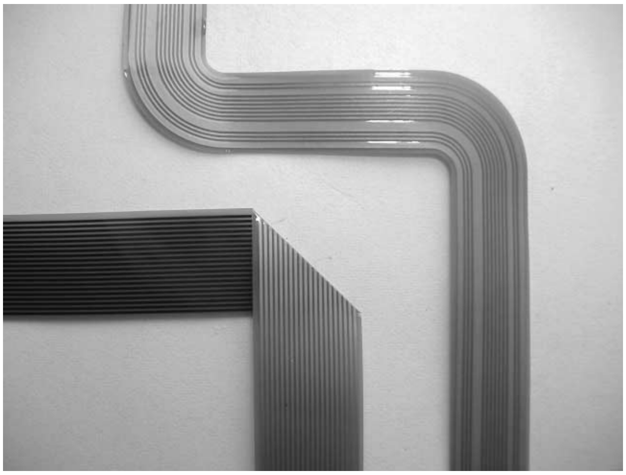


写真9　FPCの直角加工の二つの方法

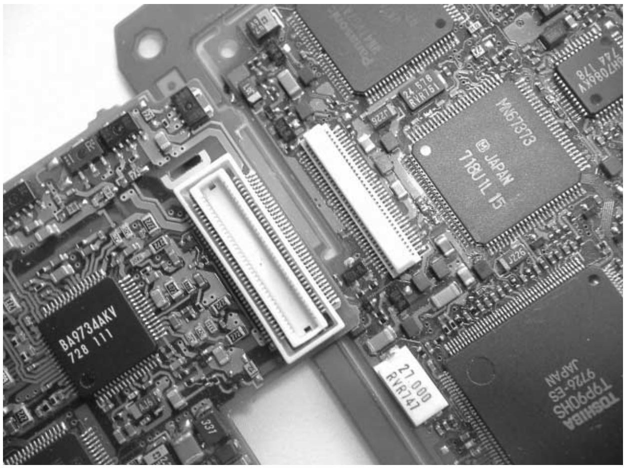


写真10　フローティング構造をもつ基板対基板コネクタ

回です．これに対して，R＝7mm程度のヒンジ屈曲特性で20万回～30万回，ハード・ディスクのヘッド部分のようなさらにRの大きいローリングでは10万回～1000万回の寿命があります．一般に屈曲用や高屈曲用のFPCは，導体抵抗が高くなる傾向にあります．

● ACF圧着やACP接続は実装面積の縮小に役立つ

ACF（anisotropic conductive film；異方性導電フィルム）圧着やACP（anisotropic conductive paste；異方性導電ペースト）接続は，コネクタやはんだを使わずに基板に加熱・加圧して直接取り付けるもので，実装面積を縮小できます．高さはほぼゼロになります．ピッチは最小0.1mm程度で，コネクタ・レスによる薄型化や接触抵抗の低減が図れます．

● コネクタに適合するFPC厚を仕様書で確認

FPC用コネクタに適用するFPCの厚さには，高い精度が求められます．通常，±50 μm程度ですが，＋30μm，−20 μmなどと厳しい場合があるので，仕様書で確認しておく必要があります．

● 不要な応力がかかるときはフローティング型を使う

複数のコネクタを使って基板どうしをつなぐと，取り付け誤差によって不要な応力がコネクタにかかり，コネクタの破損や基板の破損，はんだ付け部のはく離などを起こす恐れがあります．コネクタによって接続した基板を筐体にネジ止めする場合も同様です．このような場合は，**写真10**

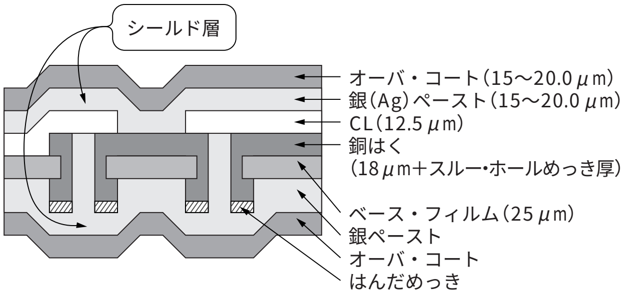


図11[8]　高屈曲FPCの構造
銅はくの代わりに銀ペーストのシールドを使っているので，柔軟性や屈曲性が改善されている

のようなフローティング・タイプを使います．

● シールド付きのFPCには高屈曲タイプもある

従来，FPCにシールド層（銅）を入れたものは，シールド効果を増すためにシールド層が厚くなりがちで，非常に曲げにくく実装しづらいものでした．しかし最近では，高屈曲が可能なシールド付きFPCが出てきています．**図11**のような構造で，銅はくの代わりに銀ペーストのシールドを使っているので，柔軟性や屈曲性が改善されています．

● FPCに耐熱性が要求される場合は2層構造にする

FPC上には配線だけでなく，部品が搭載される場合もあります．むしろこのほうが多いかもしれません（**写真11**）．部品をはんだ付けするので耐熱性が重要です．通常のFPCは，銅はく層，接着剤層，絶縁層（ポリイミド・フィルム層）の3層構造です．低価格ですが，耐熱性に劣ります．その原因は，接着剤層にあります．この接着剤層をなくして

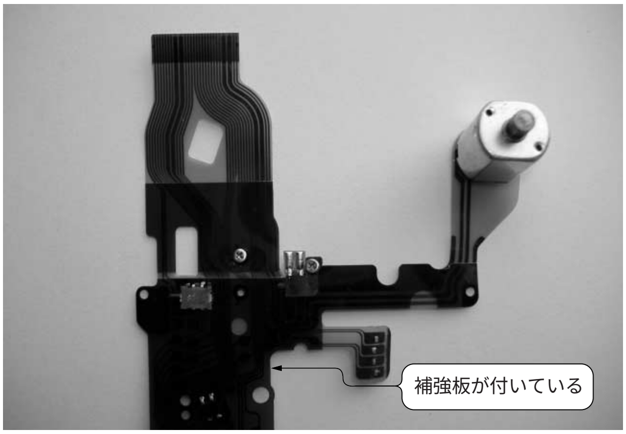


写真11　部品の搭載されたFPCの例

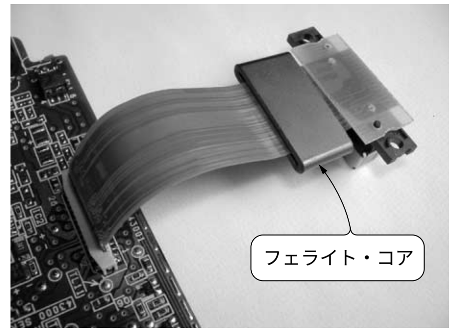


写真12 フェライト・コアに通したFPC
ループ電流が小さくなり，ノイズの放射や流入を防止できる

2層構造としたのが，2層フレキシブル銅張積層板(2層フレキCCL)です．CCLとは，Copper Clad Laminate(銅張積層板)のことで，要は折り曲げ可能なプリント基板です．接着剤層がないので，製造方法が複雑になります．価格は高いのですが，はんだ付けの耐熱性は良好です．**写真11**の下方は折り曲げ不要の部分で，強度を持たせるために補強板が貼り付けてあります．このため，通常のプリント基板と同じように取り扱えます．

鉄則8　放射ノイズを考えた配線設計を目ざす

イミュニティ(流入)とエミッション(放射)は，電磁気学の「相反定理」に従います．これはアンテナやインダクタンス，静電気などで，送信と受信，磁束と電流，電荷と電圧などの関係に見られる可逆性・対称性のことです．つまり，流入と放射は同じ対策でよいことになります．

● 隙間をふさぐことがコネクタ利用のポイント

機器相互間のインターフェース・ケーブルやコネクタの流入・放射ノイズ対策としては，

1) シールドする
2) 開口部をふさぐ
3) 機器側アースとケーブル遮へい外被を低インピーダンスで接続する
4) アルミはくを巻き付けクランプ接続する(シールド編み組みは折り返す)
5) コネクタの金属シェルとの接続線を短く，太く，多く(多点接続)する
6) 機器側については，コネクタの金属シェルを直接金属シャーシに接続する．その際，接触面積を大きくして，隙間をなくす
7) 取り付け穴はできるだけ少なくする

などが定石です．

コネクタのプラスチック・フードのシールドとしては，導電性や密着性の良いプラスチックめっきが一般的です．フード先端をパネルに全面接触させます(導電路を短くする)．

ケーブル側，パネル側ともシールドする必要があります．プラグとレセプタクルの金属シェルがしっかり圧接することがポイントです．

● ケーブルのEMI対策にはフェライト・コアが有効

FPCをフェライト・コアに通すと，グラウンド・ループの高周波インピーダンスが増加します．その結果，ループ電流が小さくなり，ノイズの放射や流入を防止できます．このとき，フェライト・コアはコモン・モード・フィルタとして動作します(**写真12**)．

参考・引用*文献

(1) トランジスタ技術SPECIAL編集部 編；実践的ノイズ対策技術のすべて，トランジスタ技術SPECIAL No.82，2003年4月．
(2) トランジスタ技術編集部 編；ディジタル回路ノイズ対策技術のすべて，トランジスタ技術SPECIAL No.22，1990年7月．
(3) 津野徹；高周波の信号と配線，トランジスタ技術，1996年10月号，pp.357-364.
(4) トランジスタ技術編集部 編；電子部品活用ハンドブック，CQ出版．
(5) 木下敏雄；EMCの基礎と実践，日刊工業新聞社，1997年5月．
(6) NPOサーキットネットワーク；プリント板と実装技術，日刊工業新聞社，2005年5月．
(7) 電子機器用コネクタテスト方法，JIS C5402，1992年．
(8)* フレキシブルプリント基板[スミライトTFP]，住友ベークライト，http://www.sumibe.co.jp/products/03_20_a.html

うるしだに・まさよし